

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-362710

(43)Date of publication of application : 15.12.1992

(51)Int.Cl.

G05D 3/12  
G05D 3/12  
// G05B 19/407

(21)Application number : 03-165037

(71)Applicant : FANUC LTD

(22)Date of filing : 10.06.1991

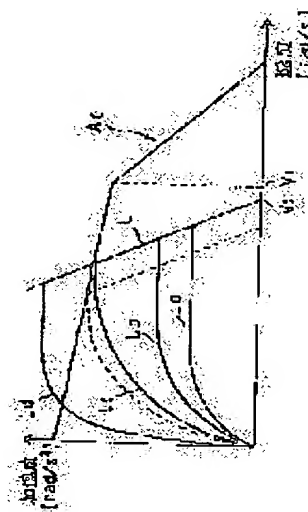
(72)Inventor : KATO TETSURO  
YOSHIDA OSAMU  
ARITA SOUICHI

## (54) OPTIMUM ACCELERATION/DECELERATION CONTROL SYSTEM FOR SERVO MOTOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To extremely shorten the acceleration/deceleration time and then to shorten the recycle time by controlling automatically the acceleration of an acceleration/ deceleration control part in accordance with a target velocity in order to secure the maximum workable torque.

**CONSTITUTION:** The acceleration of an acceleration/deceleration control part is calculated when a velocity-acceleration curve  $A_c$  obtained by subtracting a kinetic friction component from a torque curve of a servo motor touches the velocity-acceleration curves ( $L_c$ ,  $L$ ) of the answer of the motor given to a movement command. Based on the calculated acceleration, the acceleration/deceleration control is carried out. Under such conditions, the acceleration  $\alpha$  has the optimum value when the velocity-acceleration curve is obtained between a curve  $L_c$  and a straight line  $L$ . That is, the maximum workable torque of the motor is secured with the curve  $L_c$  and the line  $L$ . Then the maximum acceleration  $\alpha$  is secured for the acceleration/deceleration control part with no follow-up delay caused with the motor. When the acceleration  $\alpha$  is decided, the acceleration time (number  $Q$  of registers)  $T_1$  of the acceleration/ deceleration control part is obtained as  $V_0/\alpha$  from the target velocity  $V_0$  and the acceleration  $\alpha$ .



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 移動指令に対して、加減速制御処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにしたサーボモータの最適加減速制御方式。

【請求項2】 移動指令に対して、加減速制御処理さらにフィルタ処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにしたサーボモータの最適加減速制御方式。

【請求項3】 移動指令による移動量が短く目標速度まで達しない場合には、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上記加減速制御部の加速度を増大させる請求項1若しくは請求項2記載のサーボモータの最適加減速制御方式。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 工作機械やロボット等の数値制御装置で制御されるサーボモータの加減速制御方式に関する。

【0002】

【従来の技術】 図1は従来から実施されているサーボモータの加減速制御のブロック図である。符号1は移動指令 $r_c$ を加減速制御する加減速制御部で、移動指令を直線的に増大、減少させる直線形加減速制御部、指数関数的に増減させる指数関数形加減速制御部が知られている。また、符号2はローパスフィルタで、加減速制御部の出力 $r$ から高周波成分を削除し急激な変化をなくした移動指令としてサーボ系3に出力するものである。

【0003】 従来の形加減速制御においては、上記加減速制御部1の特定数を指令速度（分配速度）に関係なく一定として制御されている（特開昭59-168513号参照）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 直線形加減速制御で加減速時間を一定とした場合、指令速度（分配周期毎の移動指令）が $r_c$ とすると、加減速制御部に入力される各分配周期毎の移動指令（指令速度）は $r_c$ となり矩形波状に入力され、指令速度 $r_c$ に関係せず、一定の加減速時間（特定数） $T_1$ で加減速制御され、加減速制御部2

からは図2(a)に示すように出力（ $r_1 \sim r_4$ ）され、この信号がフィルタ2に入力され図2(b)に示すように高周波成分がカットされて、サーボ系3に出力されサーボモータを駆動することになる。この場合、図3に示すように、目標速度（指令速度）が小さくなるにつれて加速度が小さくなる。すなわちサーボモータの出力トルクが小さくなる。

【0005】 図3において、横軸はサーボモータの速度、縦軸はサーボモータの加速度で、 $A_c$ はサーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて計算した速度-加速度曲線（以下この曲線を加速度曲線という）であり、 $r_1 \sim r_4$ はそれぞれ図2(a)、(b)に示す加減速制御された移動指令（指令速度）に対応する速度-加速度曲線である。さらに、a、b、cの区間は、図2(b)のa、b、cの区間と対応するものである。

【0006】 この図3から明らかのように、移動指令（指令速度） $r_c$ が小さくなるにつれて加速度は小さくなり、サーボモータの使用可能トルクを有効に使用していないという欠点があり、サーボモータの使用可能トルクを有効に使用すれば、目標速度にさらに短い時間で達成させることができるにもかかわらず、一定の加減速時間で加減速され、時間を要するという問題がある。

【0007】 上記問題を解決する方法として、図4(a)に示すように加速度一定になるように特定数（加減速時間）を変える加減速制御も知られている。この場合、フィルタ2の出力は図4(b)に示すようになり、速度-加速度曲線を求めると、図5に示すようになり、最高動作速度でサーボモータの使用可能なトルクにより加速度は制限されてしまうという欠点がある。

【0008】 このように、従来の加減速時間一定もしくは加速度一定の加減速制御ではサーボモータの使用可能トルクを有効に利用して加減速を行なっておらず、最適（最短）の加減速を行っていない。

【0009】 そこで本発明の目的は、サーボモータの使用可能トルクを考慮し、加減速時間が最短となるような加減速制御方式を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】 移動指令に対して、加減速制御処理して、さらにはフィルタ処理してサーボ系への移動指令とするサーボモータの制御方式において、本発明は、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる上記加減速制御部の加速度を求め、この加速度で上記加減速制御処理を行なうようにした。また、移動指令による移動量が短く目標速度まで達しない場合には、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線が、上記サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上

記加減速制御部の加速度を増大させ、その加速度で加減速制御処理を行なうようにした。

【0011】

【作用】モータは、該モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内でそのトルクを出力できる。そのため、移動指令に対して上記加減速制御を含むサーボモータの応答の速度-加速度曲線を求め、該サーボモータの応答の速度-加速度曲線が、モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線に接するようになる加減速制御部の加速度を求め、この加速度で加減速制御を行なう。これにより、モータの使用可能な最大トルクを利用して加減速を行なうことができる。

【0012】また、移動距離が短く、上述の方法で求めた場合でも、目標速度まで達しない場合には、サーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いて求めた速度-加速度曲線の範囲内で近接するまで、上記加減速制御部の加速度を増大させて加速度を決め、この加速度で加減速制御を行なう。

【0013】

【実施例】図1において、フィルタ2の伝達関数を $G_1(s)$ 、サーボ系3の伝達関数を $G_2(s)$ とし、このフィルタ2、サーボ系3の合成伝達関数を $G(s)$ と\*

$$v = \frac{1}{Ts+1} r$$

$$\text{ただし } \begin{cases} r = \alpha \cdot t & (0 \leq t \leq T1) \\ r = v0 & (t \geq T1) \end{cases}$$

まず、移動指令の開始時 $t=0$ から加減速時間 $T1$ 完了

$t=T1$ までの間 ( $0 \leq t \leq T1$ ) について解くと数式 30

1より、

【0017】

【数2】

$$T \dot{v} + v = r$$

$r = \alpha \cdot t$  を代入し、

【0018】

【数3】

$$v + T \cdot \frac{dv}{dt} = \alpha t$$

$t=0$  として一般解を求めると、

【0019】

【数4】

$$v + T \cdot \frac{dv}{dt} = 0$$

$v = C1 e^{-t/T}$  として上式に代入する。なお、 $C1$  は係数である。

$$C1 e^{-t/T} + T \left( \frac{dC1}{dt} e^{-t/T} - \frac{C1}{T} e^{-t/T} \right) = \alpha t$$

上記数式8より、

\*し、この伝達関数 $G(s)$ が1次遅れである場合を考える。すなわち、

$$G(s) = G_1(s) \cdot G_2(s) = 1 / (Ts + 1)$$

とする。このことは、フィルタ2が1次遅れ系で、サーボ系3がほとんど遅れがない系、若しくは、サーボ系3が1次遅れ系で、フィルタ2を設けず移動指令 $rc$ を直接サーボ系3に出力する場合である。

【0014】また、加減速制御部1を直線形加減速制御とし、加減速時間(時定数)を $T1$ で、この加減速期間中は、加速度 $\alpha$ で加減速制御し移動指令 $r$ を出力し、その後は目標速度 $v0$ で移動指令 $r$ を出力するものとする。すなわち、直線形加減速制御部1は $Q(T1/\text{移動指令周期})$ 個のレジスタを有し、これらレジスタに記憶する値を順次シフトしながら1番目のレジスタに分配された移動指令を格納し、各レジスタに記憶する値を加算し、 $Q$ で除算して出力 $r$ を出力するものである(特開昭59-168513号参照)。

【0015】サーボモータの出力速度を $v$ とすると、フィルタ2をも含めた入出力関係(移動指令 $rc$ に対するサーボモータの出力速度 $v$ の関係)は数式1になる。

【0016】

【数1】

※【0020】

30 【数5】

$$C1 e^{-t/T} + T \alpha C1 e^{-t/T} = 0$$

上記数式5より、一般解は、

【0021】

【数6】

$$v = C1 e^{-t/T}$$

次に、定数変化法により特解を求める。係数 $C1$ を時間 $t$ の関数と考えると、

【0022】

【数7】

$$\dot{v} = \frac{dC1}{dt} e^{-t/T} - \frac{C1}{T} e^{-t/T}$$

上記数式と一般解の数式6を数式3に代入すると、

【0023】

※【数8】

50 【0024】

【数9】

$$\frac{dC1}{dt} = \frac{1}{T} e^{-t/T} \alpha t$$

【0025】

【数10】

$$C1 = \int \frac{1}{T} e^{-t/T} \alpha t dt$$

【0026】

【数11】

$$C1 = \alpha e^{-t/T} t - \alpha T e^{-t/T} + C2$$

となり、特解は、

【0027】

【数12】

$$v = C2 e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

となる。なお、ここでC2は積分定数である。上記数式12及び数式6より

【0028】

【数13】

$$v = C e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

なお、 $C = C1 + C2$ である。そして、 $t=0$ の時、 $v=0$ であるので、数式13より、 $C = \alpha T$ となり、数式3の解は、

【0029】

【数14】

$$v = \alpha T e^{-t/T} + \alpha t - \alpha T$$

となる。またモータの加速度Aは数式14を微分して、

【0030】

【数15】

$$A = \alpha - \alpha e^{-t/T}$$

次に、速度と加速度の関係を求める。まず、数式15より、

【0031】

【数16】

$$t = -T \ln \left( \frac{\alpha - A}{\alpha} \right)$$

上記数式16を数式14に代入することによって次の数式17の速度と加速度の関係式が求められる。

【0032】

【数17】

$$v = -\alpha T \ln \left( \frac{\alpha - A}{\alpha} \right) - \alpha T$$

次に $t \geq T1$ の範囲について解く。数式1に $r=v0$ を代入し解くと、

【0033】

【数18】

6

$$v = C1 e^{-t/T} + v0$$

上記数式18を微分してモータの加速度Aを求めると、

【0034】

【数19】

$$A = -\frac{C1}{T} e^{-t/T}$$

上記数式18、19より、 $t \geq T1$ の範囲における速度vと加速度Aとの関係は

10 【0035】

【数20】

$$v = -TA + v0$$

となる。上記数式17及び数式20において、Tはフィルタ2及びサーボ系3の伝達関数G(s)の時定数であり、フィルタ、サーボ系が決まれば、一律的に決まる値であるので、数式20は目標速度v0が決まれば、速度-加速度曲線は一律的に決まり、図6に直線Lで示されるようになる。また、数式17は加減速制御部の加速度αによって変動し、数式17のグラフは加速度αが大きいほどモータの加速度Aは大きく、大きなトルクを出力することになる。図6のLaは加速度αが小さいときの数式17の速度-加速度カーブで、Lb、Lc、Ldは順次加速度αを大きくしたときの数式17の速度-加速度カーブを示すものである。この図6で示されるように、目標速度がv0のときには、数式20で決まる速度-加速度直線Lと数式17で加速度αによって決まる速度-加速度カーブのLa~Ldの1つで決定される速度-加速度曲線が得られ、この速度-加速度曲線とモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いた加速度曲線Acが接するとき、モータが使用可能なトルクを最大限に利用したものとなる。

【0036】図6では、カーブLcと直線Lの速度-加速度曲線を得るときの加速度αが最適値となる。すなわち、カーブLaと直線L、カーブLbと直線Lでは、モータが有する使用可能なトルクを十分に利用しておらず、カーブLdと直線Lではモータの使用可能なトルク以上のトルクを利用しなければならず、モータは追従しなくなる。しかし、カーブLcと直線Lでは、モータの使用可能なトルクを最大限に利用できるもので、モータの追従遅れもなく、最適な加減速制御部の加速度αとなる。そして、加速度αが決まれば、目標速度v0とこの加速度αより加減速制御部1の加減速時間（レジスタの数Q）T1はv0/αとして求められる。

【0037】また、上述のようにして加減速制御部1の加速度α、加減速時間T1を求めても、移動指令における移動量が短い場合には、決定された加速度αで加速しても目標速度v0に到達しないまま減速される場合が生じ、最適加速度にならない場合がある。このような場合には、移動距離Sと決定された加速度αより、到達可能最高速度vaを求め、この到達可能最高速度vaを目標

50

速度として、再度上述した方法で加速度 $\alpha$ を求め、さらに到達可能最高速度 $v_m$ を求める上記処理を数回行なって到達可能最高速度 $v_m$ が目標速度 $v_0$ に近付くようにする。例えば、図7(a)に示すような加速度 $\alpha$ が求められ、この加速度 $\alpha$ で加減速制御を行なったとき移動距離が短く、図7(b)に示すように目標速度まで達しないときには、この加速度 $\alpha$ と移動距離 $S$ より、到達可能最高速度 $v_m$ を次の数式21で求める。

【0038】

【数21】

$$v_m = \alpha \cdot S$$

そして、この到達可能最高速度 $v_m$ が目標速度 $v_0$ に達しないときには、この到達可能最高速度 $v_m$ を目標速度とし上述の方法で、再度加速度 $\alpha$ を求める。この場合、図6に破線で示すような速度-加速度曲線が得られることになり加速度 $\alpha$ は増大することになる。以下、上述した処理を数回行なって到達可能最高速度 $v_m$ が目標速度 $v_0$ に近付くように加速度 $\alpha$ を決める。

【0039】図8は移動指令を出力するサーボモータの制御装置、例えば数値制御装置のプロセッサが移動指令の分配周期毎実施する本発明を適用した加減速制御のフローチャートである。

【0040】まず、数値制御装置に、使用するサーボモータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いた速度-加速度曲線である加速度曲線Acの式を予め設定記憶させておく。例えば、図6に示す加速度曲線Acの速度0から速度 $v_1$ までの直線式と速度 $v_1$ から加速度0までの直線式を設定記憶させておく。また、フィルタ2を含むサーボ系の伝達関数 $G(s)$ の時定数 $T$ を求め、この時定数 $T$ とさらに加減速制御部1の加速度 $\alpha$ をパラメータとする数式17、及び上記時定数 $T$ と目標速度 $v_0$ で決まる数式20を設定記憶させておく。

【0041】そして、数値制御装置のプロセッサは図8に示す処理を所定周期(分配周期)毎実施する。まず、動作プログラムの1ブロックの移動が完了したとき「0」にセットされるフラグFが「0」か否か判断し(ステップS1)、始めは初期設定で「0」であるので、ステップS2に進み、動作プログラムから1ブロックを読みだし、移動指令の移動距離 $S$ 、及び指令速度 $v_0$ を読み取り、各周期毎の移動指令 $rc$ を求める。次に、カウンタCNが「1」にセットし(ステップS3)、読み取った指令速度 $v_0$ によって決まる数式20の速度-加速度直線 $l$ と加速度カーブAcとの交点 $(v, A) = (v_1, A_1)$ を求め(ステップS4)、数式17の $v, A$ に $v_1, A_1$ を代入して加速度 $\alpha$ を求める(ステップS5)。

【0042】次にステップS2で読み取った移動距離 $S$ とステップS5で求めた加速度 $\alpha$ より数式21の演算を行なって到達可能最高速度 $v_m$ を求め(ステップS6)、該到達可能最高速度 $v_m$ が指令速度(目標速度)

$v_0$ 以上か否か判断し(ステップS7)、移動距離 $S$ が長く、到達可能最高速度 $v_m$ が指令速度 $v_0$ 以上であれば、ステップS9に移行し、指令速度 $v_0$ をステップS5で求めた加速度 $\alpha$ で除して加減速時間(時定数) $T_1$ 、すなわち、レジスタQの値を求め(ステップS9)、移動指令 $rc$ を加減速制御し(ステップS10)、さらにフィルタ処理を行なって(ステップS11)得られる移動指令 $r$ をサーボ側に出力する(ステップS12)。

10 【0043】そして、目標位置まで達したか否か判断し(ステップS13)、達していなければ、フラグFを「1」にセットし(ステップS15)、当該周期の処理を終了する。次の周期では、フラグFが「1」であるのでステップS1からステップS10に移行して移動指令 $rc$ の加減速処理、及びフィルタ処理を行ない、目標位置に達するまで(ステップS1, S10~S13, S15の処理を各周期毎行なう。そして、ステップS13で目標位置に達したことが検出されると、フラグFを「0」にセットする(ステップS14)。その結果次の周期では、ステップS1からステップS2に移行し、次のブロックの移動指令を読み出し、前述したステップS3以下の処理を実行する。

【0044】また、ステップS7で、ステップS6で求めた到達可能最高速度 $v_m$ が目標速度 $v_0$ より小さい場合、すなわち、移動距離 $S$ が短く、ステップS5で求めた加速度 $\alpha$ では、目標速度に達しない場合には、カウンタCNが設定値Nに達しているか否か判断し(ステップS8)、達していなければ、カウンタCNに「1」を加算し(ステップS16)、ステップS6で求めた到達可能最高速度 $v_m$ を目標速度とし(ステップS17)、ステップS4に戻り、再びステップS4以下の処理を行なって加速度 $\alpha$ 、到達可能最高速度 $v_m$ を求め、この到達可能最高速度 $v_m$ が指令された目標速度 $v_0$ に達するか、もしくは、カウンタCNが設定値Nになるまで、ステップS4~S8, S16, S17の処理を繰り返す。そして、ステップS7で指令速度 $v_0$ 以上になったことが検出されるか、ステップS8でカウンタCNが設定値Nに達したことが検出されると、ステップS9に移行し、前述したように、求められた加速度 $\alpha$ で指令速度 $v_0$ を除して加減速時間 $T_1$ を求め、移動指令 $rc$ に対し加減速処理、フィルタ処理を行なってサーボ側に移動指令として出力する。

【0045】以上のようにして、モータの使用可能トルクを最大限に利用し、加減速時間を最小にする。それにより、サイクルタイムを大幅に短縮することができる。

【0046】上記実施例では、フィルタ2を含めたサーボ系の伝達関数を1次遅れで近似した例を説明したが、2次、3次とN次遅れの伝達関数で近似される場合でも、図6に示すように、加速度曲線Acに、近似された制御系における速度-加速度曲線が接する加速度 $\alpha$ を求

めるようにすればよい。さらに、上記実施例では、加減速制御部を直線形加減速制御で構成した例を説明したが、指数関数形加減速でもよく、この場合でも、制御系における速度-加速度曲線を求め、この曲線が加速度曲線A<sub>c</sub>に接するときの加速度（時定数）を求めるようにすればよい。

【0047】

【発明の効果】本発明においては、目標速度（指令速度）に合わせ、使用するサーボモータの使用可能トルクを最大に使用できるように加減速制御部の加速度（時定数）を自動調整するようにしたので、加減速時間が大幅に減少し、その結果サイクルタイムを大幅に短縮することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】サーボモータの加減速制御のブロック図である。

【図2】加減速時間一定の直線形加減速処理後の移動指令及びフィルタ処理を行なった後の移動指令の説明図である。

【図3】モータの加速度曲線と、加減速時間一定の直線

形加減速制御における速度-加速度曲線との関係を説明する説明図である。

【図4】加速度一定の直線形加減速処理後の移動指令及びフィルタ処理を行なった後の移動指令の説明図である。

【図5】モータの加速度曲線と、加速度一定の直線形加減速制御における速度-加速度曲線との関係を説明する説明図である。

【図6】本発明の実施例における加減速制御部の加速度の求め方を説明する説明図である。

【図7】移動距離が短いときの到達速度を説明する説明図である。

【図8】本発明の一実施例における所定周期毎のサーボ系への移動指令出力処理のフローチャートである。

【符号の説明】

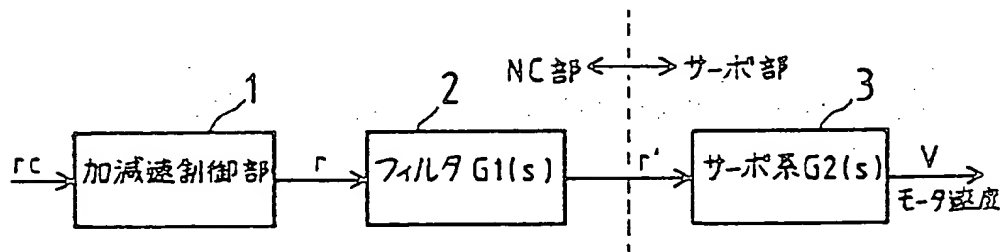
1 加減速制御部

2 フィルタ

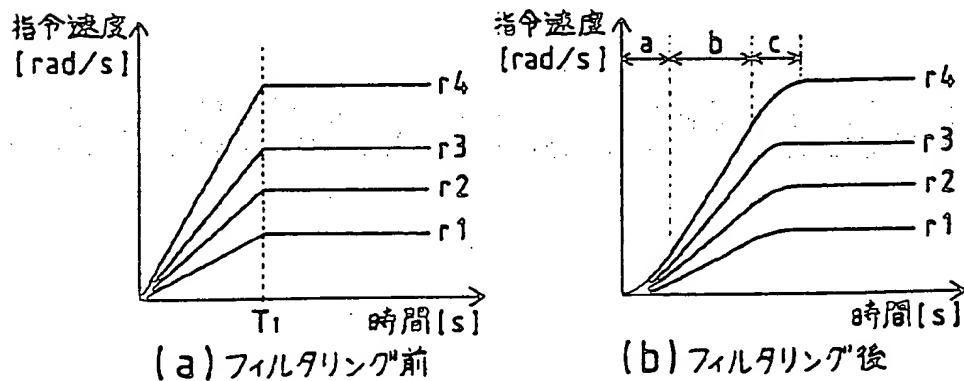
3 サーボ系

A<sub>c</sub> モータのトルクカーブから動摩擦分を差し引いた速度-加速度曲線（加速度曲線）

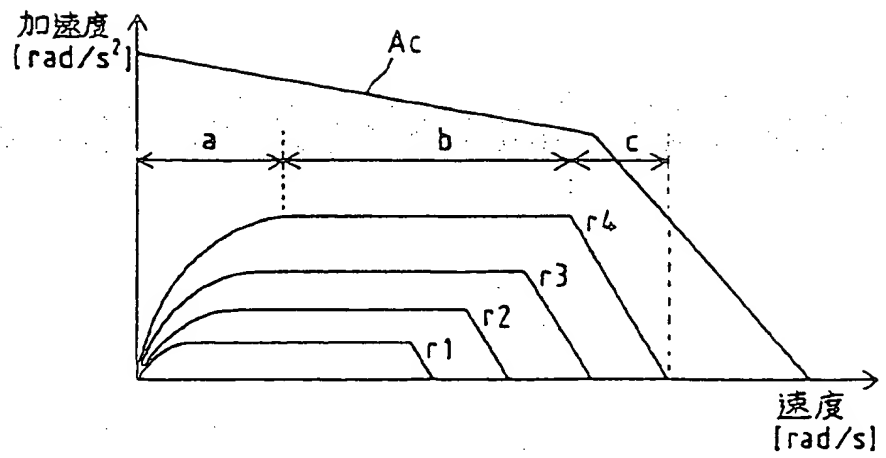
【図1】



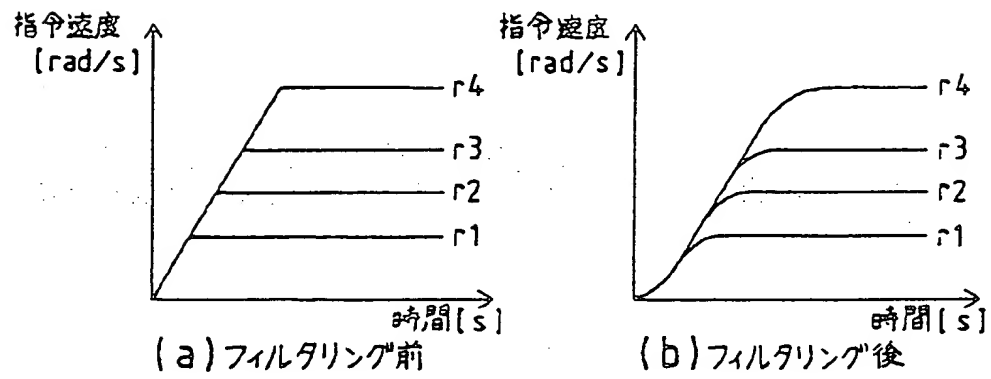
【図2】



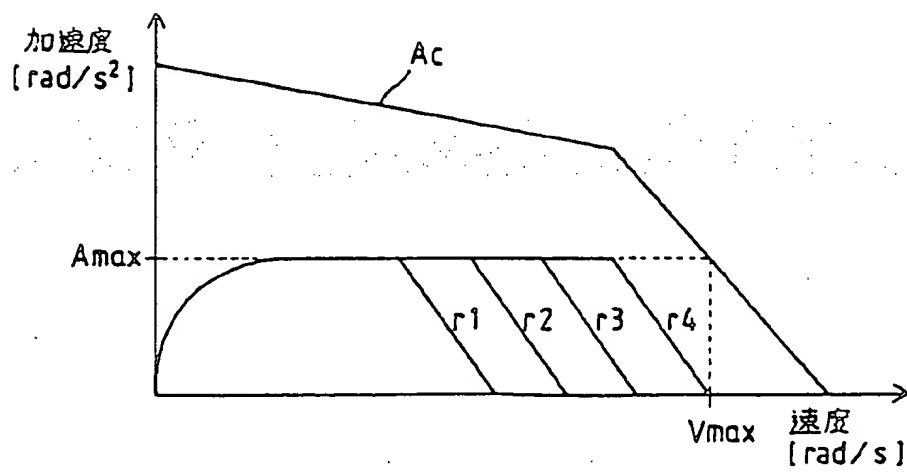
【図3】



【図4】

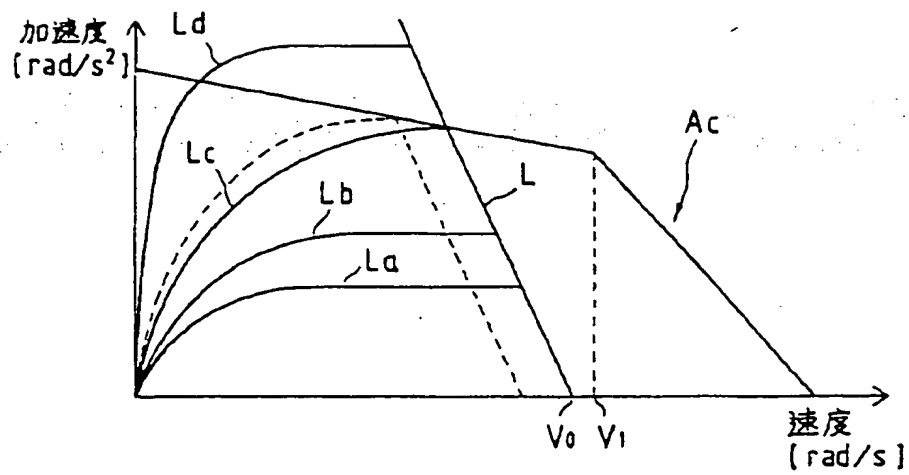


【図5】

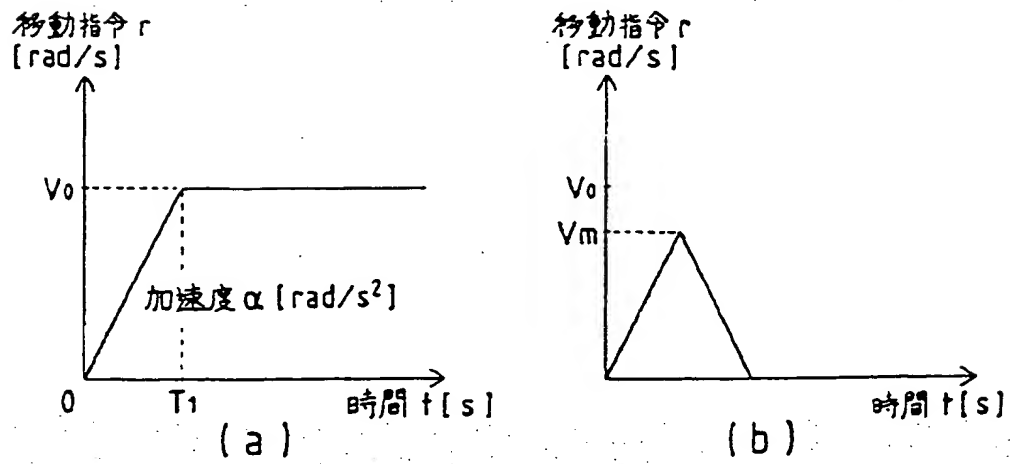




【図6】



【図7】



【図8】

